

滑模混凝土配合比参数对抗折强度的影响^{*}

傅 智

(交通部公路科学研究所 北京 100088)

摘要 研究滑模摊铺水泥混凝土配合比各参数对抗折强度的影响规律,并着重比较滑模水泥混凝土配合比各参数对抗折强度与抗压强度影响的差别。

关键词 滑模水泥混凝土路面 配合比 抗折强度 抗压强度

The Influence of Proportioning Parameters on the Flexural Strengths of Slipform Cement Concrete

Fu Zhi

(Research Institute of Highway, Beijing)

Abstract The regularity pertinent to the influence of proportioning parameters on the flexural strengths of slipform cement concrete has been studied. The differences between the influences of proportioning parameters on both flexural and compressive strengths of slipform cement concrete have been emphatically contrasted.

Key words Slipform cement concrete pavement Proportion Flexural strength Compressive strength

0 前言

滑模摊铺水泥混凝土路面是当今国际上最先进、最现代化的大规模高速公路的快速机械施工方式,通过国家“八五”重点科技攻关,目前正在我国高速公路水泥混凝土路面建设中推广应用。

本文主要介绍国家“八五”重点科技攻关课题“高等级公路滑模摊铺水泥混凝土路面筑技术研究”中滑模水泥混凝土配合比各参数对抗折强度的影响规律,并着重比较滑模水泥混凝土配合比各参数对抗折强度与抗压强度影响的差别。它不仅对滑模摊铺水泥混凝土路面的配合比设计具有指导意义,而且对于用其它方式施工的普通水泥混凝土路面配合比设计也具有参考价值。

滑模水泥混凝土是振动粘度系数或坍落度特定的普通水泥混凝土,滑模混凝土材料或路

^{*} 国家“八五”重点科技攻关项目 85-403-01-01

收稿日期 1996-05-14

面都属于普通水泥混凝土材料及其路面的范畴。众所周知,水泥混凝土路面设计、施工和质量评定的第一技术指标是抗折强度,这一点与其它水泥混凝土结构使用抗压强度作为第一的强度指标是不同的。在实际水泥混凝土路面工程中,由于广大技术人员对水泥混凝土配合比影响抗压强度的规律了解较深入,而对配合比影响抗折强度的规律则了解不多,往往采用提高抗压强度的配合比措施以增加抗折强度。但是配合比各参数影响混凝土抗压强度的规律与抗折强度不尽相同,有些恰恰相反,结果措施常常不奏效或适得其反。因此,通过研究搞清楚配合比各参数对抗折强度的影响规律不仅对于滑模混凝土,而且对于用其它方式施工的普通水泥混凝土提高路面工程的质量都很重要。

配合比参数对抗折强度与抗压强度影响不同的根本原因在于混凝土结构对不同加载方式的敏感性差异,抗折强度大小取决于抗拉强度,而抗拉强度主要依赖混凝土材料的均匀性及其集料界面的粘结强度。配合比各参数中凡是能够提高混凝土材料均匀性和界面结合能力的都可提高抗折强度。而抗压强度则不同,无侧限抗压强度的破坏形式主要是压剪破坏,它对混凝土的均匀性及其界面结合强弱的敏感性则相对弱得多。因此,它们的影响规律不尽相同或恰恰相反就不足为奇。重要的是我们必须研究清楚配合比对抗折强度的影响规律,以此来指导迅猛发展的每年建设 4 000km 各种普通水泥混凝土路面的施工,有的放矢地采取合理的技术措施来保障水泥混凝土路面工程的质量。

1 原材料对抗折强度的影响

1.1 最大粒径对抗折强度的影响

碎石混凝土粗集料最大粒径对抗折强度及抗折弹性模量的影响见图 1 它们之间是曲线关系,实验得到抗折强度的最大点是碎石 20mm 的最大粒径。分析其原因,抗折强度主要受拉应力控制,对拉应力最敏感的是混凝土的粗集料与砂浆界面,在最大粒径 5mm 的砂浆状态,按混凝土的粗细集料总重量加砂的话,砂与水泥重量比将超过 6,而砂的表面积比粗集料大得多。这样包裹砂的水泥浆相对较薄,基体抗拉能力减弱,抗折强度变小;当采用最大粒径 40mm 粗集料时,表面积大大减小,有足够浆体包裹集料,但是过大粗集料,因水份在其底部聚集,形成了宽大薄弱的界面区,抗折强度亦较小;只有在最大粒径 20mm 时,界面区大小和基体厚度适中,抗折强度最高。

碎石混凝土粗集料最大粒径抗压强度试验得出的关系与抗折强度不同,随着最大粒径增大,抗压强度增加,国内外亦有同样的研究结果。受压破坏对界面区相对不敏感,主要受粗集料大小和基体控制。粗集料粒径越大,浆体厚度越大,抗压强度越高。上述最大粒径实验级配见表 1 粗集料最大粒径对砾石混凝土强度的影响比碎石混凝土大,增大砾石混凝土最大粒径,抗折强度降低较大,而抗压强度增大更多。

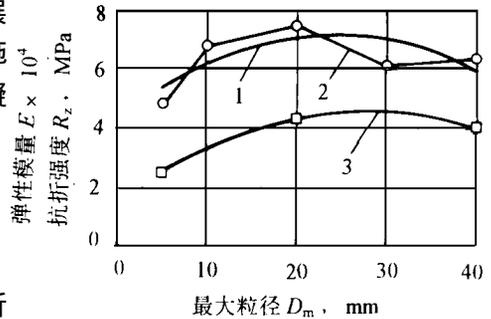


图 1 碎石混凝土粗集料最大粒径与抗折强度及弹性模量关系

图中, 1 为统计, 2 为抗折强度, 3 为抗折弹性模量

最大粒径试验级配 表 1

D_m (mm)	碎石粒径 (mm)	级配 (%)
5	0	0 砂浆
10	5~ 10	100
20	5~ 10 ¹ : 10~ 20	35 ¹ : 65
30	5~ 10 ¹ : 10~ 20 ² : 20~ 30	2 ¹ : 3 ¹ : 5
40	5~ 10 ¹ : 10~ 20 ² : 20~ 30 ² : 30~ 40	1 ¹ : 2 ¹ : 3 ¹ : 4

不仅如此,实验还表明,在砾石混凝土和碎石混凝土的级配中,增加小粒径集料的含量,抗折强度也会提高。特别在砾石混凝土中,这种效果较明显。由于水泥混凝土中的水泥浆在水化后,将生成托贝莫来石等水泥石固体,所以对其级配要求没有沥青混凝土和土稳定级配碎石路面严格。当混凝土抗折强度不足时,可不按逐级充填理论作成密实骨架充填级配,而使用与表1不同的级配,增加小粒径骨料的数量比例,来增加混凝土的抗折强度。

1.2 集料的含土量对抗折强度的影响

了解粗(细)集料含土量对滑模混凝土各项性能的影响如何,不仅对砂石料提出质量要求时是必需的,而且在拌和过程中对混凝土的质量控制也必不可少。因为在粗集料堆放及搅拌机拉料过程中,原来土和石粉含量合格的原材料,会在倒运过程中富集在底部或中间夹层里,如果危害很大,就应该处理。我们设计了不含土、含土量分别为粗集料1%、5%和10%的混凝土配制试验,掺配的土是风干壤土。

含土大大增加了混凝土需水量,当混凝土中粗集料含土量从1%增加到10%,若不增大用水量就无法达到所要求的工作性能,坍落度降低2倍以上;振动粘度系数增大近2倍。加速了新浇筑混凝土板塑性收缩开裂。

集料中土对混凝土性能影响最大的是抗折强度和硬化混凝土收缩,随着含土量增大,抗折强度线性降低,干缩直线明显上升,见图2。

试验表明,集料含干土对抗压强度、抗折弹性模量和抗冲磨性能影响相对较小。

1.3 砂细度模数对混凝土强度的影响

试验表明,随着砂细度模数增大,抗折强度略有增加。混凝土抗压强度随砂细度模数增大而增加。砂的细度模数对混凝土两种强度性能影响基本一致。

2 配合比参数对抗折强度的影响

2.1 单位水泥用量对混凝土强度的影响

单位水泥用量由 $250\text{kg}/\text{m}^3$ 增加到 $400\text{kg}/\text{m}^3$,试验所用的水灰比为0.4414,砂率32%,最大粒径 30mm 。试验时考虑到配合比的经济性,未采用大于 $400\text{kg}/\text{m}^3$ 的单位水泥用量。碎石混凝土单位水泥用量与抗折强度和抗折弹性模量关系见图3,与抗压强度关系见图4。碎石混凝土水灰比均为0.468。由此可见,增加水泥用量可增加混凝土的抗折强度和抗压强度。但很明显,水泥用量增大,抗压强度增长幅度较抗折强度大得多。砾石混凝土抗折强度略有增大。无论是碎石还是砾石混凝土,单位水泥用量增加 $100\text{kg}/\text{m}^3$,抗压强度可增加3%左右,而抗折强度砾石混凝土仅增加5%左右,碎石混凝土增长12%左右。单纯增加单位水泥用量来增加路面混凝土抗折强度,并非很有效。

2.2 水灰比对混凝土强度的影响

水灰比是混凝土配合比中最重要的参数,水灰比对混凝土抗压强度的影响有著名的Bolome公式,许多专家将其称为混凝土中的水灰比定则。它对滑模摊铺路面混凝土提高抗折强度适用性如何,是本节所要研究的内容。

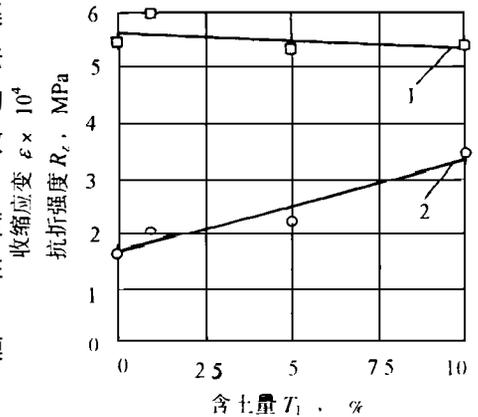


图2 粗集料含土量对混凝土抗折强度及收缩影响
图中,1为抗折强度;2为收缩应变

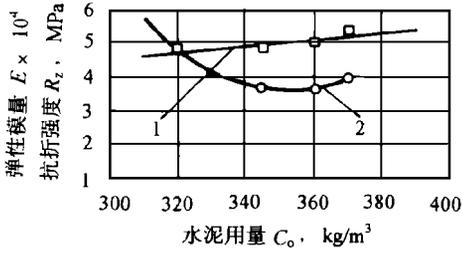


图 3 碎石混凝土水泥用量与抗折强度及弹性模量关系

图中，1为抗折强度 2为抗折弹性模量

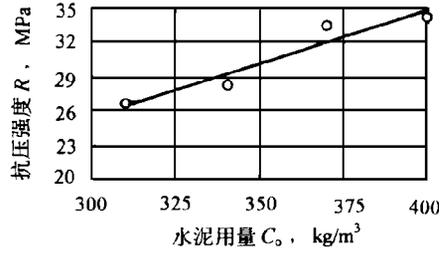


图 4 碎石混凝土水泥用量与抗压强度的关系

试验表明，随着水灰比增加，碎石混凝土抗折强度缓慢下降。抗压强度下降得较快。抗折强度与抗压强度相比，前者比后者受水灰比的影响小得多。曲线的斜率较小，用降低水灰比提高抗折强度远不及抗压强度明显。两者的主要差异在于水灰比对抗折强度的影响数量上显著小于对抗压强度的影响。

砾石混凝土水灰比与抗折强度及其百分数关系见图 5，与抗压强度及百分数关系见图 6。在砾石混凝土中两者所得规律基本相同，水灰比对抗压强度影响百分数较抗折强度的影响大得多。

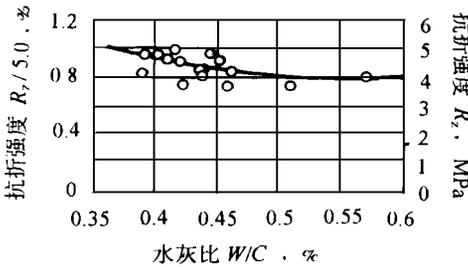


图 5 水灰比与砾石混凝土抗折强度 (百分数) 的关系

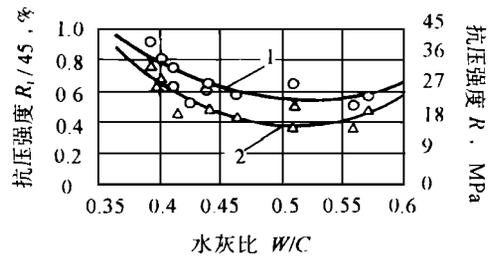


图 6 水灰比与砾石混凝土抗压强度 (百分数) 的关系

图中，1为 28天抗压强度，%；2为 7天抗压强度

综上所述，用降低水灰比制作高抗折强度的道路混凝土比制作高抗压强度的高性能混凝土困难得多，这符合一般规律。高强混凝土减小相同水灰比，抗压强度提高的幅度比抗折强度和抗拉强度大得多，随之而来的高强混凝土的问题是折压比和拉压比随着强度提高而减小，脆性增大。

2.3 砂率对混凝土强度的影响

试验表明，砂率变化对碎石混凝土抗折强度影响较抗压强度的小，同时砂率的改变对两者的作用较其它配合比参数小。

2.4 含气量与混凝土强度关系

碎石混凝土含气量与混凝土抗折强度、抗折弹性模量关系见图 7，碎石混凝土含气量与抗压强度的关系见图 8。

由图 7可见，碎石混凝土含气量与抗折强度之间为二次方关系，砾石混凝土亦然。抗折强度的最大值在含气量 3% ~ 5% 之间，砾石混凝土抗折强度最大时的含气量略大。试验对比

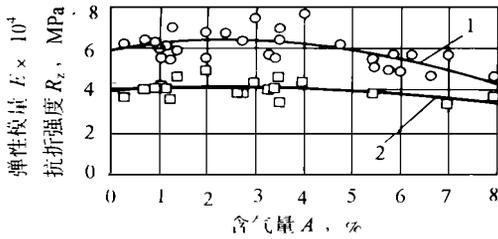


图 7 碎石混凝土含气量与抗折强度弹性模量关系
图中, 1为抗折强度; 2为抗折弹性模量

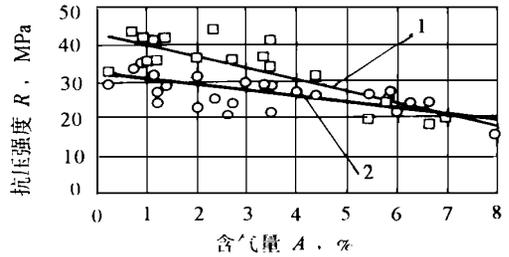


图 8 碎石混凝土含气量与抗压强度关系
图中, 1为小试件抗压强度; 2为标准试验抗压强度

表明, 引气对增大砾石混凝土抗折强度更为明显, 为 16% ~ 20%。图 8 可见, 在碎石混凝土中, 抗压强度随含气量线性下降, 与大家熟知的一般规律相同, 但与抗折强度规律不同。10 × 10cm² 的小试件抗压强度随含气量下降的斜率比 15 × 15cm² 的大试件大, 下降速率更快。说明小试件对含气量更敏感。这个试验研究表明, 引气混凝土在折算不同尺寸试件的强度时, 不能忽略含气量的影响。

含气量对抗折强度的影响规律为什么与抗压强度不同? 首先是由于加载方式不同, 在试件中引起的应力状态不同, 抗折破坏受拉应力控制, 拉应力对界面结构很敏感, 在含气量 3% ~ 5% 以内, 形成气泡占用了本来聚集在界面的水份, 使界面孔减小, 界面结构改善, 增强了界面抗拉能力, 抗折强度提高。其次, 引气混凝土浆体内部有一个最合理的气泡间距系数, 当含气量在 4% ~ 5% 时, 气泡间距系数最佳 (0.24 ~ 0.26mm), 浆体的抗拉能力改善, 抗折强度也会提高。当含气量过大时, 一方面, 气泡间距系数太小, 浆体由于气泡过多变弱, 另一方面, 浆体中气泡过多, 会将其中一部分挤到界面区, 使气泡在界面富积, 并连成气泡串, 这样反而使界面结构削弱, 界面抗拉强度下降, 浆体削弱, 界面也削弱, 抗折强度也随之下降。

抗压强度受浆体本身的强弱控制, 因此抗压强度一般随含气量增加而线性下降。然而需要指出的是, 引气较少时, 气泡可占用一部分拌和水, 使浆体实际水灰比下降, 抗压强度有时也会随含气量而提高, 超过 3% ~ 5% 才下降。

3 结论

纵观上述研究结果, 滑模混凝土原材料及配合比对抗折强度影响最大的因素依次是:

1. 水灰比和含气量一定, 粗集料的最大粒径及其小集料所占级配比例对混凝土抗折强度的影响最强。说明它是提高路面混凝土的最有效而简便的方法。

2. 最大粒径、级配及水灰比一定, 混凝土含气量对抗折强度影响很大。说明混凝土引气, 是路面混凝土提高抗折强度的重要技术措施, 因此建议在滑模混凝土中必须用引气剂做到抗折强度最高的含气量。

3. 最大粒径和含气量一定, 水灰比对混凝土抗折强度的影响较大, 但水灰比的变化对抗折强度的影响较抗压强度的影响小得多, 如果单纯用降低水灰比增大抗折强度不及增加抗压强度有效。

4. 在水灰比和含气量一定的条件下, 增加单位水泥用量对增大抗折强度有一定效果, 但提高幅度较抗压强度小, 实际工程中一味增加水泥用量并非提高抗折强度的有效手段, 它不但增大了工程投资, 而且增大了混凝土路面塑性收缩开裂的几率, 增加了干缩变形和温缩变形, 使接缝的使用性能变差, 所以不宜推荐单一增大单位水泥用量的方法。但在增加单位水

泥用量的同时减小水灰比是两者作用的加和，对提高抗折强度有积极效果

5. 道路混凝土应比其它混凝土更严格控制集料泥土含量，以利于保证抗折强度，并减小干缩

6. 砂的细度模数对抗折强度和抗压强度的影响基本一致，都很小

7. 砂率对路面混凝土抗折强度的影响最小，对抗压强度的影响也很小，具有较大的可调整余地，特别是砂率对塑性收缩裂缝和变形性能影响较大，可以使用较低的砂率来满足它们的共同技术要求

这些研究的重要意义在于，我们找到了对滑模摊铺路面混凝土抗折强度影响最大的 4 个因素及其影响程度大小的次序，很明显，它与高抗压强度混凝土的规律有很大的差别。应用这些规律，将使我国公路工程技术人员不仅对滑模施工，而且对提高轨道及人工施工的路面混凝土抗折强度有了明确的途径和行之有效的技术措施。

参考文献

- 1 国家“八五”重点科技攻关项目专题（85-403-01-01）报告，滑模摊铺水泥混凝土路面材料配合比及性能研究。1996
- 2 B J Walker, D Beadle. Mechanized construction of concrete roads. 1991
- 3 Federal highway administration. Portland cement concrete materials manual. 1990
- 4 Federal highway administration. Concrete pavement design manual. 1992

《广东省高等级公路滑模摊铺水泥混凝土路面施工技术规程》通过专家评审

由广东省租赁机械联营公司与交通部公路研究所共同完成的《广东省高等级公路滑模摊铺水泥混凝土路面施工技术规程》（送审稿）（以下简称《规程》）于 1996 年 12 月 17 日在广州市通过省交通厅组织的专家评审。交通部总工程师杨盛福、中国工程院院士沙庆林、广东省交通厅总工程师郑启瑞等省内外 10 余位专家出席了评审会。

该项目是国家“八五”重点科技攻关课题“高等级公路滑模摊铺水泥混凝土路面修筑成套技术研究”向技术标准化和规范化施工的推进，使国家科技攻关成果转化为强大的现实生产力迈出了关键的一步。该《规程》经过修改形成报批稿，报请省技术监督局批准后，将在广东省高等级公路建设中应用。与会专家相信，《规程》的使用，必将有力地促进广东省大型滑模机械施工水泥混凝土路面工程质量和施工技术水平的提高。

该《规程》是国内第一部滑模摊铺水泥混凝土路面施工技术的省级行业规程，不仅将使广东省高等级公路滑模摊铺水泥混凝土路面的施工在技术操作上有章可循、有法可依，而且对全国其它省区使用滑模摊铺水泥混凝土路面技术建设高质量的高等级公路具有较大参考价值，同时，为交通部制定全国的行业技术规范奠定了良好的基础。